

Estudi de viabilitat sobre l'autosuficiència energètica mitjançant energies renovables d'un port esportiu.

Treball Final de Grau



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Treball realitzat per:
Ivan Simon Birba

Dirigit per:
Santiago Ordás Jiménez

Grau en Nàutica i Transport Marítim

Barcelona, 10 de Maig de 2019

Departament de Ciència i Enginyeria Nàutiques



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Facultat de Nàutica de Barcelona



Agraïments

A la meva família i els meus amics per al suport incondicional rebut durant tota la carrera i la realització del treball.

A la meva parella, Andra, ja que gràcies a tu ha estat tot més fàcil.

Al professor Santiago Ordás per la seva ajuda, orientació i supervisió durant tot el treball.

Al senyor Xavier Artacho, Tècnic Superior en Eficiència Energètica i Energia Solar Tèrmica per la seva ajuda durant el treball.

Resum

L'objectiu d'aquest treball és fer un estudi sobre la instal·lació d'energies renovables en un Port esportiu i valorar la viabilitat de l'ús d'aquest tipus d'energia.

En primer lloc es comença per fer un estudi dels tipus d'energies renovables que es podrien utilitzar en un port. Després de buscar informació del diferents tipus de energies que actualment existeixen s'han escollit tres tipus: energia solar, energia eòlica i energia de les onades. El port sobre el que es realitza l'estudi és el Port Olímpic de Barcelona.

En segon lloc i un cop finalitzat l'estudi general de les energies renovables es comença l'estudi del procés d'instal·lació dels diferents tipus d'energies escollides per a l'estudi del projecte.

L'estudi es duu a terme per els tres tipus energies escollides per separat a fi de poder calcular la quantitat d'energia que poden generar cadascuna d'elles. Un cop obtinguts els resultats de l'energia que es pot generar i en funció dels consums actuals del port es pot fer un estudi i valoració de les tones d'emissions de CO₂ que deixaran d'emetre's amb la substitució de l'energia que prové d'energies no renovables per energies renovables.

Finalment es valora la viabilitat econòmica del projecte d'instal·lació de les energies renovables i el cost. S'haurà de tenir en compte la inversió inicial necessària per la substitució de l'energia provinent de combustibles fòssils per cadascun dels tipus d'energies renovables escollides de manera que es cobreixin les necessitats energètiques del port, després es valorarà l'estalvi que suposa l'ús de les renovables respecte de les energies no renovables i per últim, tenint en compte la vida útil de les instal·lacions de les energies renovables es farà càlcul de l'amortització de la inversió inicial.

Amb els resultat obtinguts en el cas del Port Olímpic de Barcelona i les necessitats energètiques, s'ha pogut comprovar que el projecte no és viable en línies globals. La no viabilitat és sobretot econòmica ja que la inversió inicial que requereix la instal·lació d'energies renovables és molt elevada, per tant, implica un període d'amortització molt llarg. D'altra banda s'ha pogut comprovar que la instal·lació de plaques fotovoltaïques és l'única de les tres energies escollides que és rendible Si bé és cert que de manera global no s'arribaria a cobrir més d'un 66 % d'energia demandada, el que si que s'aconseguiria és una gran disminució tant de les emissions contaminants així com de la dependència de combustibles fòssils.

Abstract

The objective of this bachelor's thesis is to study the installation of a renewable energies in a marina and assess the viability using this type of energy.

In the first place, a study about the type of renewable energies that could be used in a port begins. After searching information on the different types of energies that currently exist, three types have been chosen: solar energy, wind energy and waves energy. The port on which the study is carried out is the Port Olímpic of Barcelona.

In the second place and once the general study of renewable energies has finished, the study of the installation process of the different types of energies chosen by this project begins.

The study is carried out by the three types of energies chosen separately in order to calculate the amount of energy that can generate each of them. Once the results of the energy that can be generated and based on the current consumption of the port can be obtained is possible to do a study and assessment of the tons of CO₂ emissions that will stop emitting with the replacement of the energy that comes from non-renewable energies for renewable energies.

Finally, the economic feasibility of the project for the installation of renewable energies and cost is valued. The initial investment needed to replace the energy from fossil fuels for each one of renewable energies chosen so that the energy needs of the port will be covered will be taken into account, then the savings entailed by the use of renewable energy in comparison to non-renewable energies and finally, taking into account the useful life of the renewable energy installations the calculation of the repayment of the initial investment will be calculated.

With the results obtained in the case of the Port Olímpic of Barcelona and the energy needs, it has been shown that the project is not viable in global lines. Non-viability is mainly economic, since the initial investment required by the installation renewable energies are very high, therefore, it implies a very long period of amortization. On the other hand, it has been shown that the installation of photovoltaic panels is the only of the three energies chosen that is profitable. While it is true that in a global way, it would not be possible to cover more than 66% of energy demanded, however, would be a great reduction for polluting emissions and for the dependence of fossil fuels.

Índex

AGRAÏMENTS	III
RESUM	V
ABSTRACT	VII
LLISTAT DE FIGURES.....	XI
LLISTAT DE GRÀFICS.....	XII
LLISTAT DE TAULES	XIII
CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ.....	1
CAPÍTOL 2. LA ENERGIA.....	3
FONTS D'ENERGIA.....	3
EL CANVI CLIMÀTIC	7
CAPÍTOL 3. ENERGIES RENOVABLES APLICABLES A UN PORT	9
ENERGIA SOLAR	9
TECNOLOGIA SOLAR DE CONVERSIÓ TÈRMICA	10
TECNOLOGIA SOLAR DE CONVERSIÓ ELÈCTRICA	11
ENERGIA EÒLICA.....	12
TIPUS D'AEROGENERADORS.....	13
TIPUS DE PARCS EÒLICS	14
ENERGIA D'ORIGEN MARÍ.....	15
ENERGIA DE LES ONADES	16
CAPÍTOL 4. MARC NORMATIU.....	21
CAPÍTOL 5. DESCRIPCIÓ DEL PORT I NECESSITATS ENERGÈTIQUES	23
CAPÍTOL 6. SELECCIÓ ENERGIES RENOVABLES AL PORT	25
TECNOLOGIA SOLAR DE CONVERSIÓ ELÈCTRICA	25
ENERGIA EÒLICA.....	28
ENERGIA DE LES ONADES	28

<u>CAPÍTOL 7. COMPARACIÓ ENTRE ENERGIES RENOVABLES I CONVENCIONALS</u>	<u>31</u>
<u>CAPÍTOL 8. VIABILITAT ECONÒMICA.....</u>	<u>33</u>
ENERGIA SOLAR	33
ENERGIA EÒLICA	33
ENERGIA DE LES ONADES	34
TOTAL ENERGIES RENOVABLES.....	35
<u>CAPÍTOL 9. COST ECONÒMIC DEL PROJECTE.....</u>	<u>37</u>
<u>CAPÍTOL 10. CONCLUSIÓ.....</u>	<u>39</u>
<u>BIBLIOGRAFIA.....</u>	<u>41</u>
<u>ANNEX</u>	<u>43</u>
ANNEX A. DISTRIBUCIÓ ESPAIS PORT OLÍMPIC	43
ANNEX B. SOFTWARE EXCEL UTILITZAT PER L'ENERGIA SOLAR REALITZADA PEL SENYOR XAVIER ARTACHO, PROFESSIONAL DEL SECTOR SOLAR.....	44
ANNEX C. LOCALITZACIONS ON S'INSTAL·LARIEN LES PLAQUES FOTOVOLTAIQUES	46
ANNEX D. DIC DE RECER	48

Llistat de Figures

Figura 1. Col·lector solar tèrmic. Font: Ecofener	11
Figura 2. Panell fotovoltaic. Font: Blog Naturgy Empresa Eficiente	12
Figura 3. Tipus de turbines eòliques. Font: Projecte grup 23.....	14
Figura 4. Parc eòlic marítim Walney Extension, Cumbria, UK. Font: El Periodico de la Energia	15
Figura 5. Columna d'aigua oscil·lant. Font: cyberphysics	18
Figura 6. Central a partir de les onades de Mutriku. Font: Google Maps	19
Figura 7. Distribució Port Olímpic de Barcelona. Font: Port Olímpic de Barcelona	23
Figura 8. Amortització energia solar. Font: Pròpia	33
Figura 9. Amortització energia eòlica. Font: Pròpia	34
Figura 10. Amortització energia de les onades. Font: Pròpia.....	34
Figura 11. Amortització energies renovables del Port Olímpic. Font: Pròpia.....	35
Figura 12. Radiació solar a Barcelona amb inclinació 0°	44
Figura 13. Radiació solar a Barcelona amb inclinació 40°	44
Figura 14. Hores pic per inclinació de 0° i 40° respectivament.....	44
Figura 15. Càlcul regulador zona Moll de Gregal.....	45
Figura 16. Càlcul regulador zona Moll de Mestral.....	45
Figura 17. Càlcul regulador zona Moll de Marina.....	45
Figura 18. Càlcul inversor.....	45
Figura 19. Marquesina del Moll de Gregal. Font: pròpia	46
Figura 20. Zona del Moll de Mestral. Font: pròpia.....	46
Figura 21. Zona del Moll de Mestral. Font: pròpia.....	47
Figura 22. Zona Moll de Marina. Font: pròpia	47
Figura 23. Dic de recer. Font: pròpia	48
Figura 24. Dic de recer. Font: pròpia	48
Figura 25. Blocs de formigó al Dic de Recer. Font: pròpia.....	49

Llistat de Gràfics

Gràfic 1. Consum combustibles fòssils l'any 2016 a l'Estat Espanyol. Font: Institut Nacional d'Estadística (INE)	4
Gràfic 2. Consum d'energia procedent de combustibles fòssils de 1960 a 2015 a l'Estat Espanyol. Font: Banc Mundial	4
Gràfic 3. Electricitat obtinguda d'energies renovables. Font: Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT)	6
Gràfic 4. Consum final provinent d'energies renovables. Font: Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT)	6
Gràfic 5. Emissions de CO ₂ a l'Estat Espanyol entre els anys 1960 i 2014. Font: Banc Mundial	8

Llistat de Taules

Taula 1. Escala de Douglas. Font: Servei meteorològic de Catalunya.....	17
Taula 2. Distribució d'espais del Port Olímpic en m ² . Font: Port Olímpic	44

Capítol 1. Introducció

El canvi climàtic és el gran problema del segle XXI. La principal causa d'aquest fenomen és la combustió de combustibles fòssils. Escoltant les últimes notícies al respecte, les queixes que s'estan duent a terme al nostre país per part d'estudiants i la mediàtica Greta Thunberg, la noia sueca de 15 anys que ha fet una conferència a la ONU sobre el canvi climàtic, pensant-hi al respecte m'han sorgit un munt de qüestions: Com hem arribat fins aquest punt? Per què no es fan grans canvis? Com hi puc col·laborar?

Arrel d'aquesta última pregunta, vaig començar a donar voltes sobre fer el Treball de Fi de Grau relacionat amb energies renovables. Les energies renovables són el futur tenint en compte que no alliberen emissions contaminants com el CO₂ si no volem que les pròximes generacions tinguin un futur mínimament digne.

Pensant en quelcom interessant en que poder treballar, va sorgir-me una nova pregunta: Com és possible que un port esportiu que està quasi 24 hores al dia durant els 7 dies a la setmana no treguin profit de les energies renovables? La única resposta que obtenia era que no entenia el perquè i arrel d'aquesta pregunta, es va començar a gestar aquest treball.

En aquest treball es farà un estudi de les energies renovables que podem utilitzar en un port esportiu. Amb la col·laboració d'un port i professionals del sector, s'analitzaran les necessitats energètiques del port, si es pot cobrir tota la demanda amb energies renovables, les emissions contaminants que s'estalvien i finalment s'estudiarà la viabilitat econòmica.

Capítol 2. La energia

L'energia es basa en la "Llei de conservació de l'energia". El principi fonamental d'aquesta és que l'energia ni es crea ni es destrueix, es transforma. Basant-nos en aquesta llei, podem dir que la suma de l'energia utilitzada dels elements que participen al principi és igual a la utilitzada al final.

El sistema internacional d'unitats (SI) és l'encarregat de definir quines són les unitats principals a utilitzar arreu del món. En el cas de l'energia, la unitat acceptada és el Joule (J). Una altre unitat molt utilitzada per a l'energia, és el kilowatt hora (kWh). L'equivalència entre Joules i kilowatts hora és que $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ milions de Joules}$. Si parlem de potència, la unitat en sistema internacional és el Watt (W). L'equivalència entre Watts i Joules és que $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$.

Entrant en matèria d'energia elèctrica, s'han de tenir 3 conceptes clars:

- El mix energètic. Fa referència a les fonts d'energia que en conjunt cobreixen el subministrament elèctric d'un país.
- El consum. És el gast total d'energia, en el nostre cas, del port estudiat.
- La demanda. La necessitat d'energia necessària per cobrir un consum.

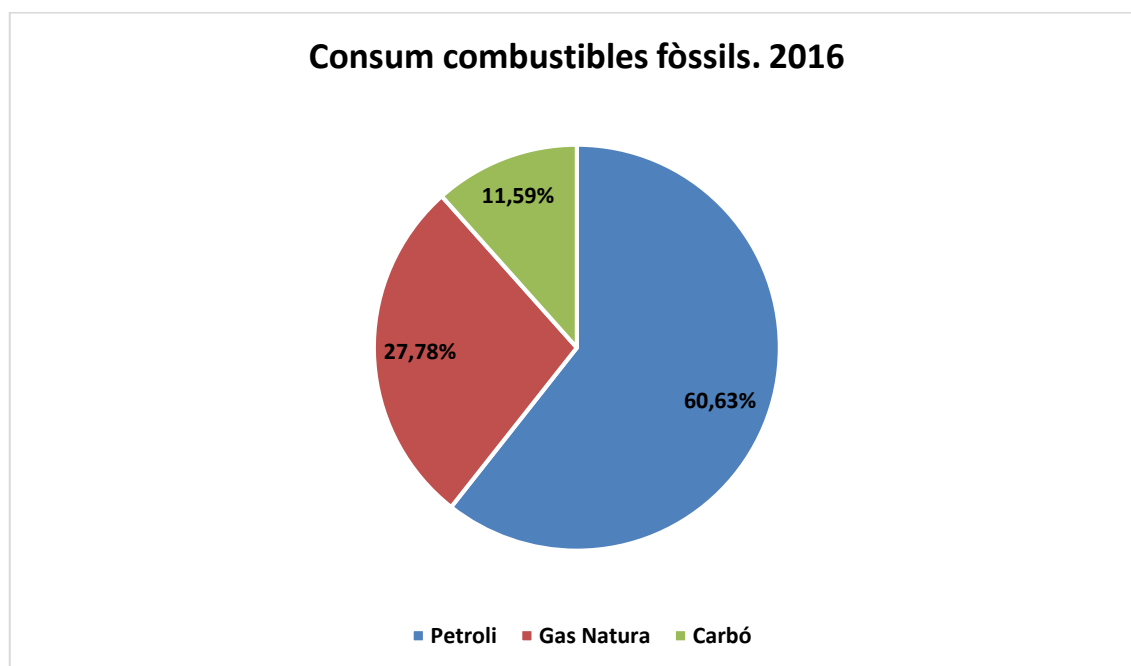
Fonts d'energia

Les podem dividir en dos grans grups:

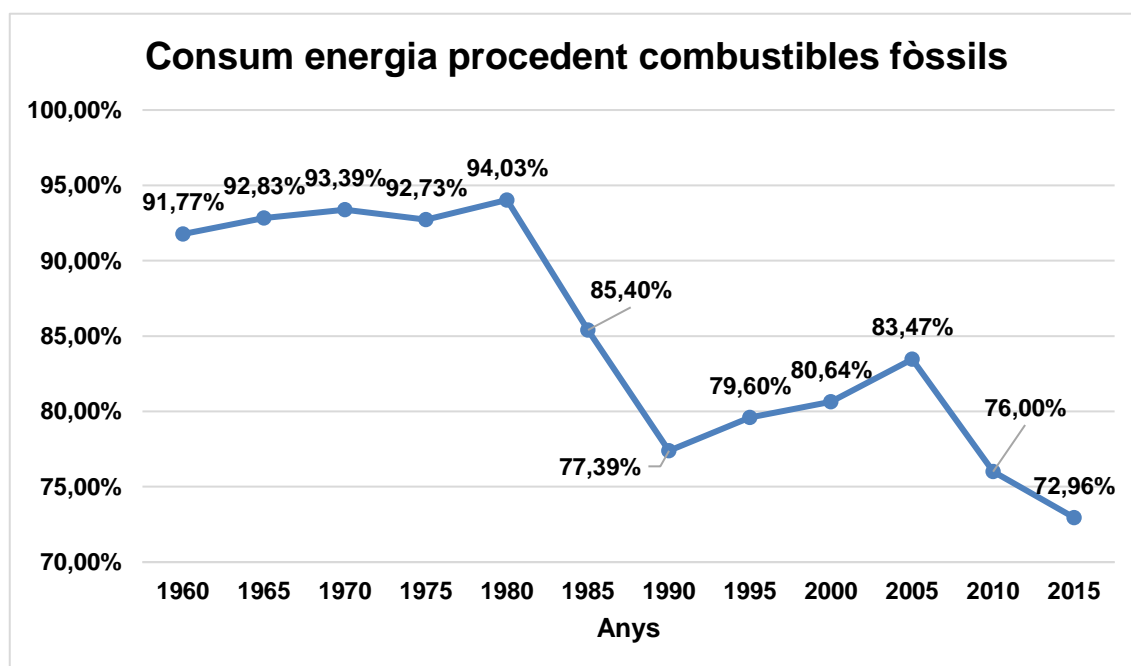
1. Fonts energètiques no renovables

Són les fons finites, les que tenen data de caducitat. En major o menor quantitat, produeixen residus danyosos per al medi ambient, però per contra, son energies que actualment estan molt desenvolupades per a ésser aprofitades per l'ésser humà.

Generalment, quan parlem de les fonts d'energia no renovables estem parlant de combustibles fòssils. Aquests són conseqüència de matèria orgànica acumulada durant milions d'any sota capes de la terra a altes pressions i temperatures. Mitjançant un procés de descomposició, donen lloc al carbó, petroli i gas natural. Aquests tres combustibles fòssils són els més comuns en el nostre dia a dia.



Gràfic 1. Consum combustibles fòssils l'any 2016 a l'Estat Espanyol. Font: Institut Nacional d'Estadística (INE)



Gràfic 2. Consum d'energia procedent de combustibles fòssils de 1960 a 2015 a l'Estat Espanyol. Font: Banc Mundial

Com hem anomenat anteriorment, aquestes fonts d'energia són causants de residus danyosos pel medi ambient com el CO₂, metalls pesats, àcids... que afavoreixen el canvi climàtic, l'efecte hivernacle, la pluja àcida i la destrucció de la capa d'ozó.

2. Fonts energètiques renovables

Es coneixen com a energies renovables totes aquelles que s'obtenen a partir de corrents energètiques contínues i recurrents. És a dir, són energies d'origen natural i no s'acaben perquè aquesta energia es regenera quasi al mateix ritme que es s'empra. També són energies en que la seva contaminació és gairebé nul·la que implica una considerable millora en el medi ambient i qualitat de vida.

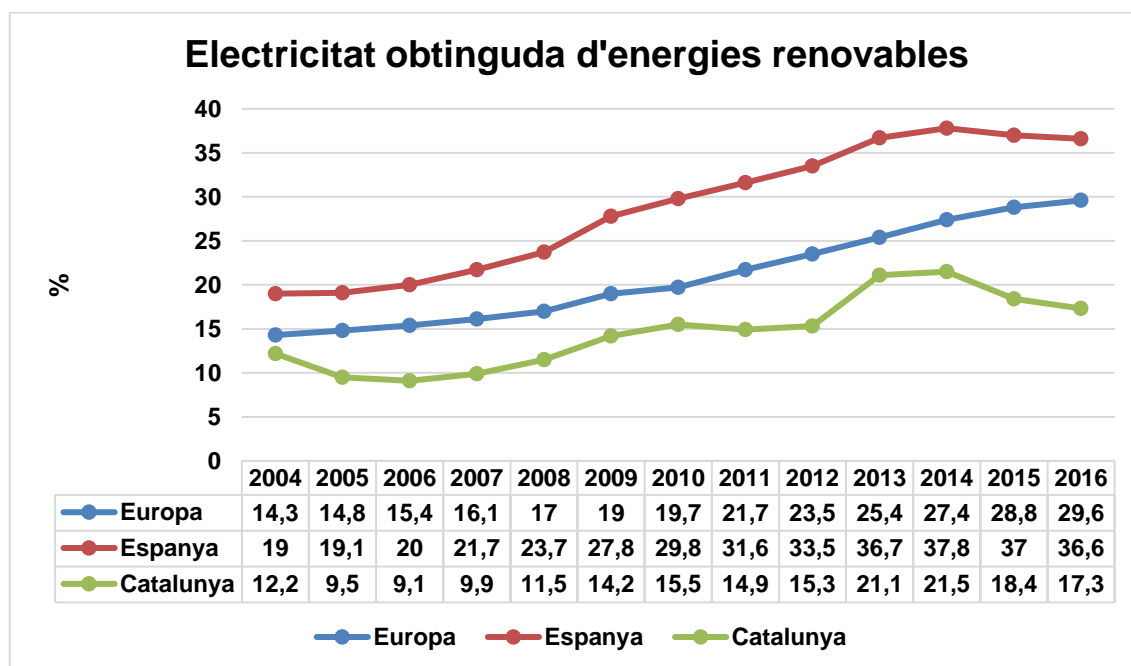
Les principals fonts d'energia renovable són:

- a. Energia solar. S'utilitza per produir electricitat o calor i fred.
- b. Energia eòlica. La que prové del vent. Com la solar, s'empra per produir electricitat.
- c. Biomassa. És l'energia de la matèria orgànica que mitjançant una combustió, es pot produir biodièsel, biogàs i bioetanol.
- d. Energia geotèrmica. S'aprofita l'energia que té l'escorça terrestre per climatitzar edificis.
- e. Energia hidràulica. Es produeix electricitat mitjançant un salt d'aigua.

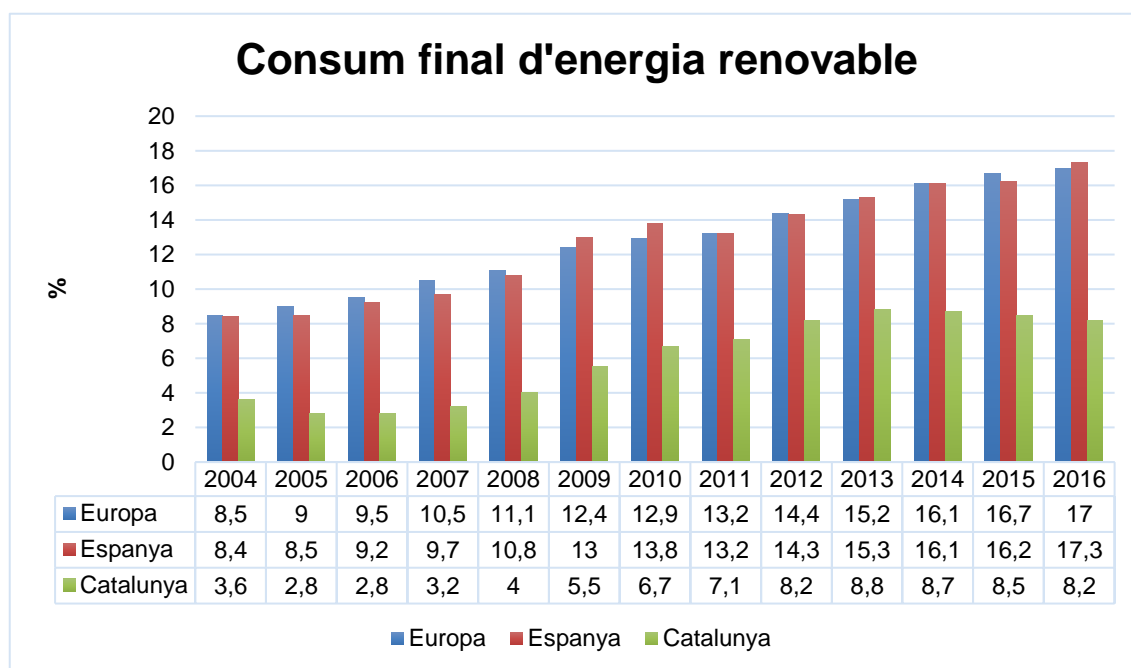
Altres fonts d'energia renovables serien:

- a. Hidrogen.
- b. Marees.
- c. Onades de mars i oceans.
- d. Processos atòmics de fusió.

En aquest gràfic, podem veure el percentatge d'electricitat obtinguda mitjançant energies renovables respecte al consum d'energia elèctrica d'Europa, Espanya i Catalunya entre els anys 2004 i 2016. En aquest gràfic s'inclouen com a energies renovables la eòlica, la solar, la hidroelèctrica, la mareomotriu, la geotèrmica, els biocombustibles i els residus renovables.



Gràfic 3. Electricitat obtinguda d'energies renovables. Font: Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT)



Gràfic 4. Consum final provinent d'energies renovables. Font: Institut d'Estadística de Catalunya (IDESCAT)

Les energies renovables tenen un seguit de avantatges com:

- a. Son il·limitades.
- b. Estan esteses a tot el món.
- c. Ajuden a combatre l'efecte del canvi climàtic.
- d. No produeixen residus tòxics (pluja àcida, residus radioactius).

Tanmateix, també tenen algunes desavantatges:

- a. Són energies que necessiten una gran extensió per a poder abastir grans regions.
- b. Encara es troben en vies de desenvolupament.
- c. Generen problemes paisatgístics així com ecològics.
- d. Són necessàries fortes inversions.

El canvi climàtic

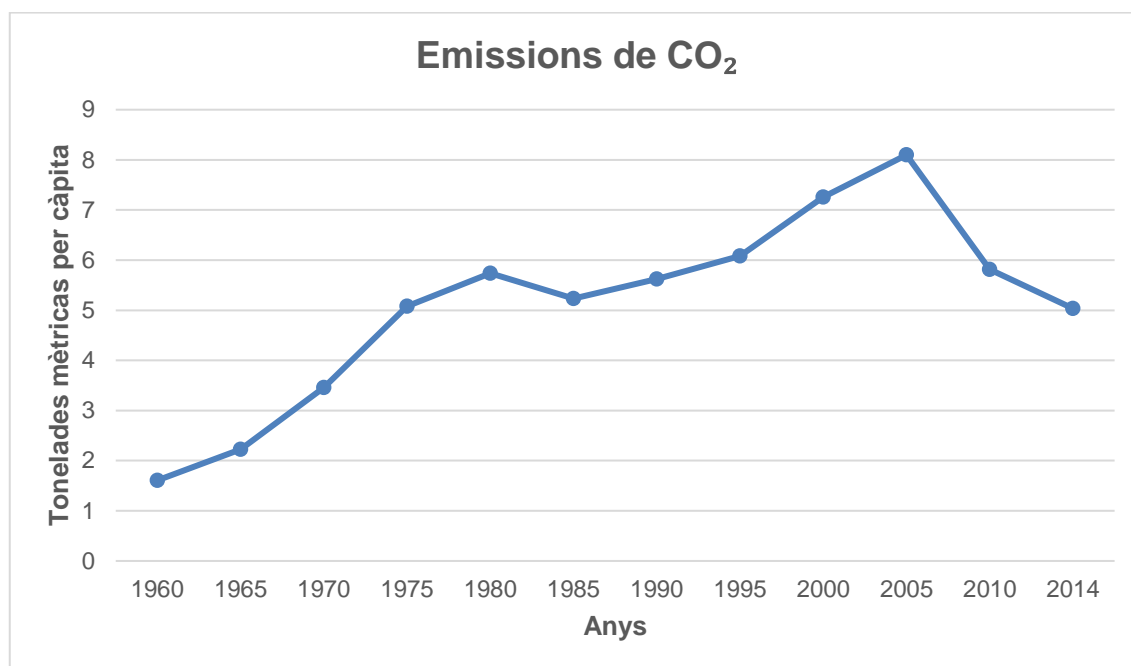
El canvi climàtic el podem definir com una variació global del clima a tota la Terra. De canvi climàtic n'hi ha hagut sempre de manera natural. Al llarg de la història del planeta s'han produït varis fenòmens que ens porten a pensar que s'han pogut produir uns canvis dràstics de temperatures.

A l'actualitat, arran de la revolució industrial tot s'ha industrialitzat. Com a conseqüència, les indústries, els vehicles i fins i tot l'ésser humà, genera una sèrie de residus que tot indica estan accelerant el canvi climàtic i comporta una sèrie de fenòmens els quals podrien estar relacionats amb el canvi. Aquests fenòmens podrien ser entre d'altres:

- Huracans en zones poc comuns
- Desglaç de les zones àrtiques
- Sequeres
- Disminució de nevades en zones típiques
- Grans variació de temperatures

Les emissions de CO₂ (entre d'altres) emeses sobretot pels combustibles fòssils semblen els principals causants de la situació actual de contaminació, canvi climàtic i augment de l'efecte hivernacle. És per això, que la utilització d'energies renovables sembla una bona solució a la reducció d'emissió d'aquests gasos contaminants.

Al gràfic adjunt, podem observar l'increment que hi ha hagut a l'Estat Espanyol en emissions de CO₂ des del 1960 fins el 2005 i com s'ha iniciat un descens després d'arribar al màxim històric el 2005.



Gràfic 5. Emissions de CO₂ a l'Estat Espanyol entre els anys 1960 i 2014. Font: Banc Mundial

Capítol 3. Energies renovables aplicables a un port

De totes les energies renovables que es coneixen a l'actualitat, les que podrien ser aplicables en un port serien:

- Energia solar
- Energia eòlica
- Energia d'origen marí

Energia solar

És l'energia que prové de la radiació que emet el sol. Com és conegut, sense el sol no podria haver-hi vida a la Terra. Amb el pas dels anys, a la radiació solar se li ha anat traient profit fins a l'actualitat on s'aprofita per a produir energia.

De tota la radiació solar que arriba a la Terra, només el 47 % arriba a la superfície. Aquesta radiació, incideix de tres maneres:

- Radiació directa: prové directament del sol. És la radiació que es produeix en un dia solejat sense núvols.
- Radiació difusa: incideix indirectament. És produeix en un dia ennuvolat.
- Radiació reflectida: la provinent d'un reflex. Un exemple seria el reflex de la mar o de la neu.

Ahora d'estimar el potèncial solar d'una zona, s'ha de tenir en compte varis factors:

- Les condicions meteorològiques.
- L'època de l'any.
- La latitud de la zona a estudiar.
- L'orientació de la placa solar.

La Terra gira al voltant del Sol mitjançant un moviment de translació i una òrbita el·líptica. L'eix polar sobre el que gira la Terra està relativament inclinat respecte el pla de l'el·líptica. Aquesta petita inclinació així com la Latitud en que ens trobem incideix en la quantitat de rajos solars que rebem. És per això, que a l'estiu rebem més rajos solars mes incidents que a l'estiu.

Quan es vol realitzar una instal·lació per a aprofitar la radiació solar i transformar-la en energia elèctrica, s'han de tenir els valors concrets d'energia sobre el lloc on es vol fer la instal·lació. Per a poder fer aquestes mesures, hi ha varis aparells que ens poden servir. Per exemple, un aparell que mesura la radiació global seria el solarímetre, i un que mesura la radiació directa seria el pirheliòmetre.

Per a poder produir energia elèctrica aprofitant l'energia que transmet el sol, la podem dividir en dues maneres:

- Conversió tèrmica. Transforma l'energia solar que absorbeix la transforma en calor. Després, mitjançant una màquina termodinàmica es transforma aquesta calor en energia elèctrica.
- Conversió elèctrica. Transforma l'energia solar rebuda en energia elèctrica.

Tecnologia solar de conversió tèrmica

Com s'ha dit anteriorment, aquesta tecnologia absorbeix l'energia solar i la transforma en calor. Hi ha dues maneres de captar aquesta energia solar:

- Passiva. Mitjançant la condicionament d'una casa s'aconsegueix l'aprofitament de les condicions ambientals reduint així la despesa energètica. Per a dur a terme aquesta tecnologia, s'han de seguir les pautes de l'arquitectura bioclimàtica.
- Activa. Aquest tipus de tecnologia ens dona una altra classificació en funció de la temperatura que es necessita. Tenim la tecnologia de baixa temperatura ($T < 90^{\circ}\text{C}$), de mitja temperatura ($90^{\circ}\text{C} < T < 400^{\circ}\text{C}$) i d'alta temperatura ($T > 400^{\circ}\text{C}$). Tenint en compte que la nostra instal·lació tractarà d'un port esportiu, la tecnologia que ens interessa seria la passiva.

La tecnologia de baixa temperatura s'acostuma a emprar per a l'escalfament d'aigua per a us sanitari, és a dir, per al consum humà. Per a usar aquesta tecnologia, generalment s'utilitzen els subsistemes de captació, acumulació, intercanviador i auxiliar.

- Subsistema de captació. Està compost dels col·lector tèrmics plans o panells solars. La seva funció és la de captar l'energia solar i transformar-la en energia tèrmica.
- Subsistema d'acumulació. S'encarreguen d'emmagatzemar l'energia tèrmica que s'ha transformat al subsistema de captació. Generalment són tancs d'acer.
- Subsistema intercanviador. Separa l'aigua que circula pel captador de l'aigua de l'aigua de consum. Aquest subsistema es troba en circuits oberts.
- Subsistema auxiliar. Té per objectiu subministrar l'aigua calenta sol·licitada. Aquest subministra es produeix mitjançant canonades, vàlvules, purgadors...

Hi ha dos tipus de circuits per a produir aigua calenta mitjançant la tecnologia solar de conversió tèrmica:

- Circuit obert. Hi ha un únic circuit. En aquest cas, la canonada de l'aigua passa a prop del col·lector solar el qual l'escalfa per a l'ús demandat i s'emmagatzema en un subsistema d'acumulació.
- Circuit tancat. En aquest cas, consta de dos circuits connectats entre si pel subsistema intercanviador. Un circuit està associat al col·lector que escalfa l'aigua del circuit que la cedeix al segon circuit està compost per un subsistema acumulador.



Figura 1. Col·lector solar tèrmic. Font: Ecofener

Tecnologia solar de conversió elèctrica

Com ja hem pogut veure, aquesta tecnologia transforma directament l'energia solar rebuda en energia elèctrica. Aquesta conversió es du a terme mitjançant les cèl·lules fotovoltaïques integrades en les conegudes plaques fotovoltaïques. Aquestes plaques estan fabricades amb materials semiconductors cristal·lins que generen corrent elèctric quan incideix la radiació solar.

Aquesta energia es pot utilitzar per a diferents usos poden separar-los en tres grups. El primer i més comú són per a subministrar electricitat a edificis aïllats, senyals de tràfic, bombejos... com a segon tindríem subministrar edificis però que en aquest cas estan connectat a la xarxa elèctrica convencional i per últim, com a últim grup, s'utilitza aquestes plaques fotovoltaïques per subministrar energia a satèl·lits artificials, calculadores o automòbils.

Com a la tecnologia de conversió tèrmica, la de conversió elèctrica conté els següents subsistemes:

- Subsistema de captació. Constituït pel panell fotovoltaic, converteix la radiació solar en electricitat. El panell disposa de cèl·lules fotovoltaïques connectades en sèrie o paral·lel per aconseguir uns nivells determinats de tensió i electricitat elèctrica.
- Subsistema d'emmagatzematge. Emmagatzema l'energia generada pel panell fotovoltaic que no s'utilitza. Consta de bateries connectades en paral·lel o sèrie. Les més emprades són les de plom àcid.
- Subsistema de regulació. Evita que les bateries rebin més energia de la que són capaces d'emmagatzemar i evitar així possibles sobrecàrregues.
- Subsistema convertidor de corrent. S'encarrega de convertir l'energia produïda o emmagatzemada en energia continua o alterna.



Figura 2. Panell fotovoltaic. Font: Blog Naturgy Empresa Eficiente

Energia eòlica

És l'energia que produïm mitjançant el vent que genera una energia cinètica. El vent és l'aire produït dins de l'atmosfera terrestre a causa de una variació de temperatura generada a diferents punts a causa de l'escalf que rep del Sol. Val a dir però, que només el 2 % de l'energia solar que arriba a la Terra es converteix en energia eòlica. Els factors que influeixen en el vent són:

- Situació geogràfica
- Característiques climàtiques locals
- Topografia de la zona
- Irregularitats del terreny

La manera com es converteix l'energia cinètica del vent en energia elèctrica és mitjançant uns molins anomenats aerogeneradors. L'aire mou una hèlix que mitjançant engranatges interns mou un generador que és el que produeix electricitat. Explicat així, sembla quelcom fàcil d'aconseguir però hi ha varis factors a tenir en compte per a decidir si és rendible o no. En el cas que ens afecta a nosaltres, un port esportiu, encara hi ha més factors que poden incidir com podrien ser la mida dels aerogeneradors que es poden col·locar en un port, el tipus de vent que hi ha a nivell de mar, el possible impacte visual o el soroll de l'hèlix al girar.

Tipus d'aerogeneradors

Per a entendre millor els aerogeneradors, els dividim en dos grans grups segons el seu eix de gir:

- Turbines d'eix vertical o HAWT. Són turbines perpendiculars al vent. Normalment tenen entre 1 i 3 pales. Són turbines que necessiten vents a una velocitat relativament elevada per a posar-se en funcionament (algunes s'ajuden mitjançant un motor d'arrancada auxiliar). Degut a que els vents varien de direcció, aquests tipus de turbines disposen d'un mecanisme de virat controlat per motos elèctrics que permet orientar les pales en funció de la direcció del vent. També hi ha uns models d'entre 6 i 24 pales. Aquests models es feien servir per al bombeig d'aigua i actualment estan gairebé obsolets.
- Turbines d'eix vertical o VAWT. Són turbines que es mouen mitjançant l'arrossegament de les pales. Reaccionen a qualsevol direcció del vent ja que les pales de la turbina són verticals. Tenen un rendiment més baix que les turbines d'eix vertical.

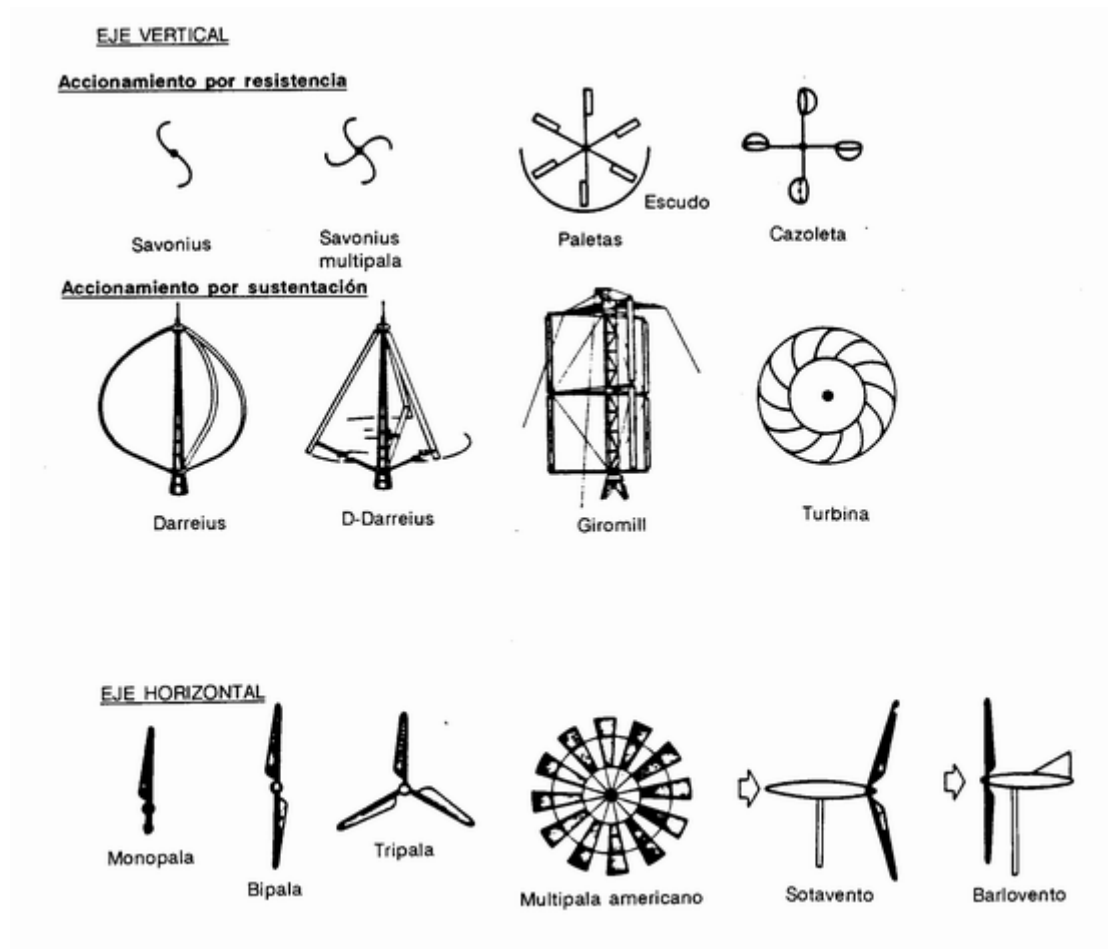


Figura 3. Tipus de turbines eòliques. Font: Projecte grup 23

Tipus de parcs eòlics

Generalment, els podem separar en tres grups:

1. Offshore. Són parcs eòlics marítims, és a dir, que estan al mar. A la mar, els vents acostumen a ser més forts i constants que a terra, per tant, es poden produir més watts d'electricitat. Malauradament, malgrat els 6000 km de costa de l'Estat Espanyol, a Espanya no està gaire desenvolupat degut a l'elevada profunditat que hi ha a 5 km de la costa. Al Regne Unit i al Mar del Nord, és on s'hi troben els majors parcs eòlics. El més gran del món es troba a les costes de Cumbria, al nord-oest d'Anglaterra, amb 689 MW de potència instal·lada en 87 turbines.



Figura 4. Parc eòlic marítim Walney Extension, Cumbria, UK. Font: El Periodico de la Energia

2. Parcs connectats a la xarxa elèctrica. Són els parcs més comuns a nivell mundial. És un conjunt o un únic aerogeneradors que generen energia elèctrica i es transporta mitjançant la xarxa elèctrica.
3. Parcs aïllats. Són un conjunts o un únic aerogenerador que no estan connectats a la xarxa elèctrica. En aquest cas, només satisfan un consum concret en un lloc aïllat de la xarxa elèctrica. Com l'energia no es pot destruir, es necessiten sistemes d'emmagatzemat on guarda l'energia generada.

Energia d'origen marí

És energia que prové directament del mar. Hi ha varies maneres d'aprofitar l'energia que ens pot subministrar el mar per transformar-la en energia elèctrica:

- Energia tèrmica dels oceans. Aquesta energia utilitza la diferencia de temperatura entre la superfície del mar i la que hi ha a 1000 metres de profunditat. Per a que sigui profitosa aquest tipus d'energia, és necessari que hi hagi una diferència de com a mínim 20 °C. En el cas de la costa espanyola i més concretament la catalana, la diferencia de temperatura que hi ha es de menys de 18 °C. Per tant, en el nostre cas no se li podria treure cap tipus de benefici.
- Energia mareomotriu. S'empra l'ascens i descens de l'aigua del mar produït per l'acció gravitatòria del Sol i de la Lluna per produir energia elèctrica. Per a poder construir una

central mareomotriu, ha d'haver-hi com a mínim una diferència de 5 metres entre plenamar (ascens de l'aigua) i baixamar (descens de l'aigua). Pel que fa a la costa catalana, que es troba dins del Mar Mediterrani, hi ha una diferència d'entre 20 i 40 centímetres que per tant, fa inviable la utilització d'aquest tipus d'energia. En canvi, a la resta de l'Estat Espanyol, hi ha zones del nord de la Península on si es pot aprofitar aquesta energia.

- Energia de les ones. Energia que utilitza les onades per a produir energia elèctrica. Tenint en compte que les característiques del Mar Mediterrani, és l'únic tipus d'energia procedent del mar que se li pot treure profit a Catalunya.

Energia de les onades

És l'energia que es genera a partir de les onades del mar. Les onades es produeixen a causa del vent, les forces gravitatòries que exerceixen la Lluna i el Sol, les tempestes, etc. Val a dir però, que la causa principal és el vent.

Les onades estan constituïdes per molècules d'aigua que es mouen mitjançant cercles. A més profunditat, aquests moviments van disminuint exponencialment. A mesura que l'onada s'apropa a la costa, aquest moviment canvia de forma circular a una forma el·lipsoidal. També sabem que la velocitat de les onades, depèn de la profunditat. Per tant, podem dir que a més profunditat més velocitat i quan les onades s'aproximen a la costa, disminueix la velocitat i la longitud d'onada.

S'ha de tenir en compte un fenomen molt important i que en el cas que ens ocupa pot ésser de gran influència. Es tracta del fenomen de reflexió que es produeix quan l'onada impacta contra una barrera, en aquest cas l'escullera d'un port. Quan s'ha produït aquest impacte, l'onada rebotada ha perdut molt energia i origina una onada estacionaria juntament amb l'onada incident.

Les onades tenen com a característiques la longitud, l'alçada i el període. La longitud és la distància entre dos pics consecutius, l'alçada es la diferència entre la cresta i la vall de l'onada i per últim, el període fa referència a cada quan és repeteix una onada, és a dir, quants segons triga una onada en recórrer la seva longitud. Tot i això, les onades no són sinusoidals, en altres paraules, no són periòdiques.

Amb tot això, l'energia de les onades és molt gran. La potència total de cada metre d'onada és la suma de les potències de tots els seus components. S'ha de tenir en compte, que gairebé el 95 % de l'energia d'una onada es troba entre la superfície i un quart de longitud d'onada. Degut a la immensitat del mar, és impossible mesurar cada metre d'aigua. És per això, que en determinats punts s'hi troben dispositius de mida com boies oceanogràfiques o també mitjançant satèl·lits o sensors.

L'escala de Douglas és l'escala on es defineix l'estat de la mar.

Grau	Descripció	Alçada de les onades
0	Mar plana	0 m
1	Mar arrissada	0 – 0,10 m
2	Marejol	0,1 – 0,5 m
3	Maror	0,5 – 1,25 m
4	Forta maror	1,25 – 2,5 m
5	Maregassa	2,5 – 4 m
6	Mar brava	4 – 6 m
7	Mar desfeta	6 – 9 m
8	Mar molt alta	9 – 14 m
9	Mar enorme	> 14 m

Taula 1. Escala de Douglas. Font: Servei meteorològic de Catalunya

Per a poder treure profit de les onades, s'ha de transformar l'energia cinètica i/o potencial de les ones en energia elèctrica. Com ja sabem, les onades no són un fenomen exacte, i hi ha una sèrie de dificultats a tenir en compte:

- Irregularitat en amplitud, fase i direcció d'onades. Aquetes irregularitats ens priven d'obtenir la màxima eficiència.
- La càrrega estructural ha d'estar preparada per a condicions climàtiques extremes ja que la càrrega pot ésser 100 vegades més gran.
- Les onades a vegades tenen un moviment lent i, tanmateix, també tenen un moviment molt ràpid que es necessària tenir en compte alhora d'adaptar els generadors elèctrics.

La manera com es pot treure profit de les onades, es pot classificar de varies maneres:

- Segons la seva posició respecta al costa hi han ubicats a la costa, a prop de la costa o a alta mar.
- Segons la seva capacitat d'extraure energia hi ha de petita, mitjana i gran capacitat.
- Segons la seva posició relativa respecte les onades hi ha els que tenen l'eix perpendicular a la direcció de les onades i els que el tenen paral·lel.
- També es poden classificar segons si disposen d'una estructura fixa a la costa o al fons del mar, o per contra, si son flotants o semi submergits.

El sistema de captació d'energia que més ens interessa en el nostre cas ha d'estar ubicat a la costa o a prop de la costa. El que més s'empra dels que estan ubicats en terra són els denominats

Oscillating Water Column (OWC), és a dir, columnes oscil·lants d'aigua. Aquestes instal·lacions consten d'una càmera de pressió amb una columna d'aire a la part superior d'una columna d'aigua. Quan hi ha onades, l'aigua puja i baixa i com a conseqüència empeny i xucla l'aire que hi ha a dalt, que es transforma en aire comprimit per un canal on acciona una turbina que està connectada a un generador. Per tant, es treu profit tant quan la onada puja com quan baixa.

Per aquest sistema, normalment s'utilitza les turbines anomenades Wells ja que poden rotar en el mateix sentit sense tenir en compte el sentit de l'aire que la fa moure. També existeixen sistemes sense turbines Wells que però, operen en un únic sentit d'aire. Aquest mateix sistema, es pot utilitzar a prop de la costa en baixes profunditats fent-lo ferm al fons del mar. En aquest cas, al no estar a la costa, la càmera d'aire s'ha testejat d'acer.

- 1.- Dic per on entra l'aigua i on hi ha aire.
- 2.- Obertura per on entren i surten les onades.
- 3.- Aire comprimit i descomprimit quan puja i baixa l'aigua.
- 4.- Turbina que utilitza l'aire comprimit per a generar electricitat

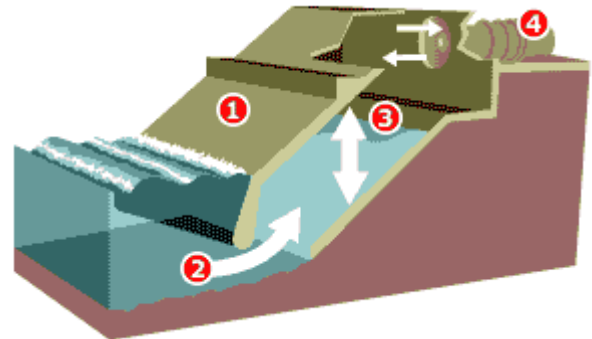


Figura 5. Columna d'aigua oscil·lant. Font: cyberphysics

Un exemple de columnes oscil·lants el trobem a Mutriku, al País Basc, que es va inaugurar el 2011 sent pionera a nivell mundial i consta de 16 turbines instal·lades al dic de recer de les quals només estan en funcionament 14 degut a defectes posteriors. Produeix uns 250000 kWh anuals d'electricitat.

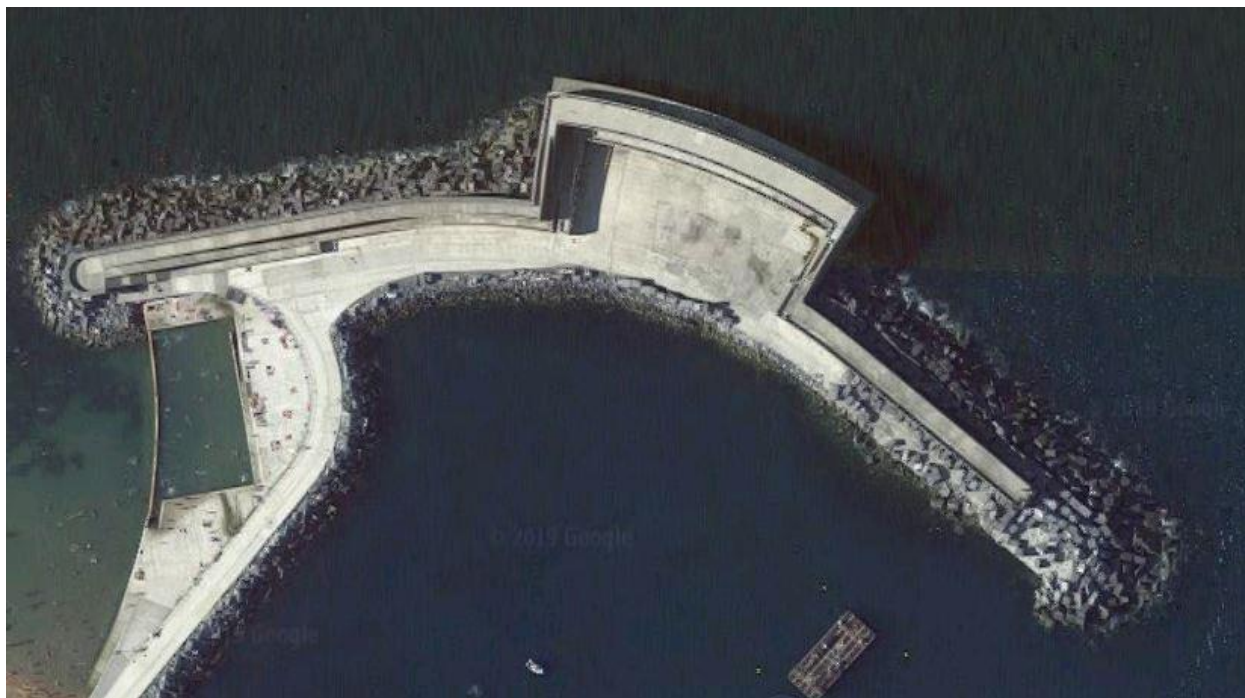


Figura 6. Central a partir de les onades de Mutriku. Font: Google Maps

Capítol 4. Marc Normatiu

La regulació de les energies renovables ve marcada pel Reial Decret 413/2014, de 6 de Juny, publicat al Butlletí Oficial de l'Estat (BOE) número 140, de 10 de Juny 2014. L'objectiu d'aquest és regular el règim jurídic i econòmic de l'energia elèctrica produïda mitjançant energies renovables.

En el cas que ens afecta en aquest treball, les tres energies que utilitzarem (solar, eòlica i de les onades) estan incloses en la categoria b, grups 1, 2 i 3 respectivament.

Aquests son els principals drets que tindriem com a productor d'energia elèctrica a partir d'energia renovable:

- Contractar la venda o adquisició d'energia elèctrica.
- Tenir accés a la xarxa de transport i distribució.
- Percebre una retribució en el cas de vendre energia al mercat.

Aquestes son les principals obligacions que tindriem com a productor d'energia elèctrica a partir d'energia renovable:

- Disposar dels equips que permeten determinar l'energia produïda amb anterioritat a l'inici de la generació d'electricitat.
- La instal·lació ha d'estar inscrita al registre administratiu d'instal·lacions de producció d'energia elèctrica
- Les instal·lacions amb potència instal·lada major d'1MW han d'enviar telemesures a l'operador del sistema en temps real i de manera individual.

L'administració pública, en aquest cas el Ministeri d'Indústria, Energia i Comerç, ha d'estar al corrent de les característiques de la instal·lació i l'activitat a la qual es destinarà.

Tanmateix, correspon a l'Administració General de l'Estat, a través de la Direcció General de Política i Mines del Ministeri d'Indústria i Turisme l'autorització administrativa per la posada en marxa d'una instal·lació de producció d'energia renovables així com la inscripció al registre administratiu de la mateixa.

Capítol 5. Descripció del port i necessitats energètiques

El port escollit per a realitzar l'estudi és el Port Olímpic de Barcelona. Inaugurat l'any 1991, va ser construït per a les olimpíades de Barcelona '92 com a seu de la vela esportiva. L'empresa concessionària de la gestió i explotació del Port Olímpic de Barcelona corre a càrrec de Port Olímpic de Barcelona S.A. (POBASA). Si es compleixen els terminis estipulats, l'any que ve s'acaba la concessió que va obtenir l'empresa POSABA, per tant, el nou projecte del Port Olímpic de Barcelona està una mica a l'aire, és a dir, les dades que s'han obtingut molt probablement variaran en els pròxims anys. Tot i això, tot sembla indicar que les modificacions més grans no afectaran en excés als consums que van a càrrec del port no patiran gaires canvis.

Les dades proporcionades a continuació han estat obtingudes mitjançant dues visites al Port Olímpic a càrrec del Capità del Port Olímpic el senyor Joan Guitard Roy. També s'ha pogut saber que el Port Olímpic disposa de plaques solars utilitzades per a escalfar l'aigua de les dutxes del port.

Actualment, el POB ocupa una superfície total construïda de 223.913,73 m². Distribuïts en tres grans espais que són espais oberts a terra, edificacions i aigua, aquesta és la seva distribució.

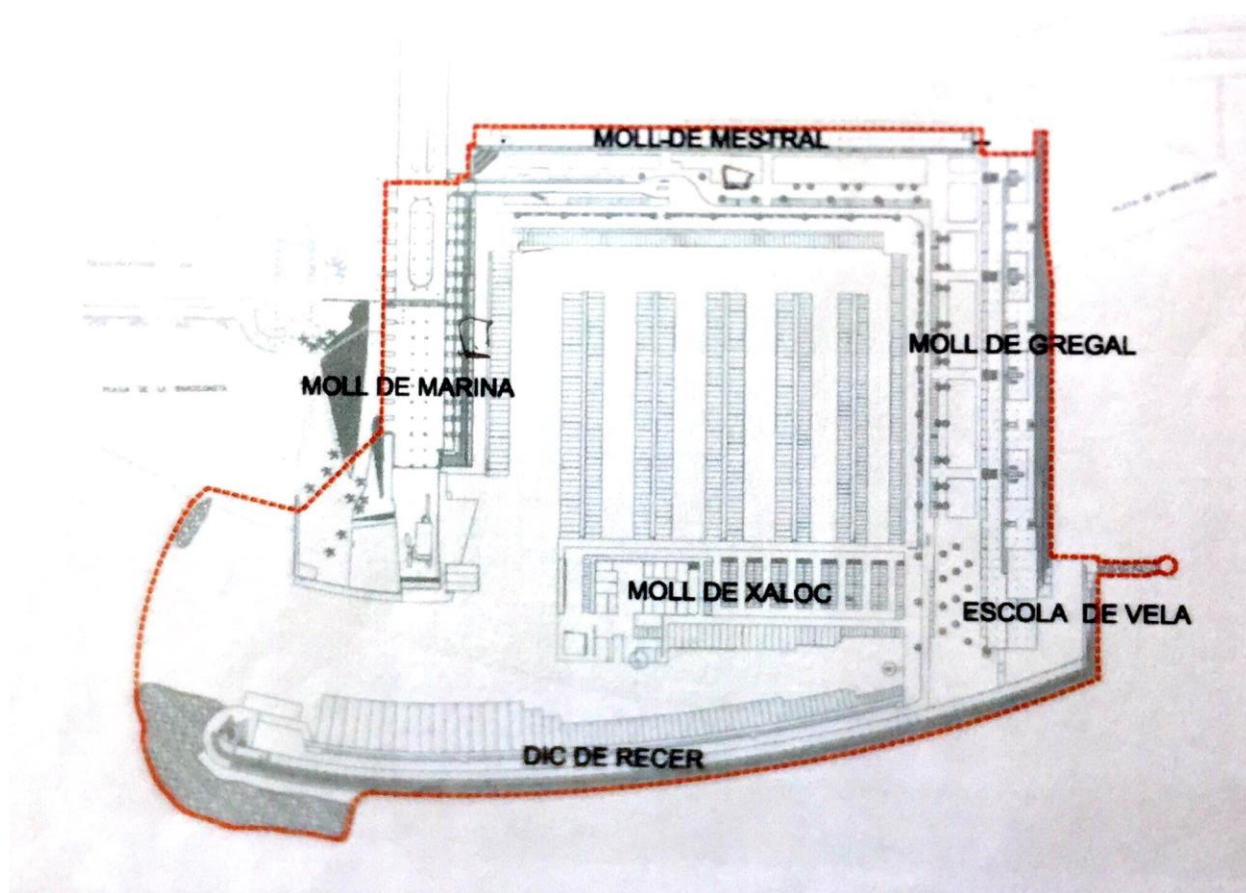


Figura 7. Distribució Port Olímpic de Barcelona. Font: Port Olímpic de Barcelona

Com podem veure a la fotografia anterior, podem aglutinar tots els espais en 5 grans zones:

- Dic de Recer. És el dic de defensa contra temporals, té una llargada de 520 metres i 26 metres d'amplada. Consta de 3 nivells on hi trobem esculleres, grades, molls i passeigs, pallols i oficines.
- Moll de Gregal-Escola de Vela. Són 330 metres de llargada i 89 d'ample (excepte on hi ha l'Escola de Vela que són 115 metres d'ample). Disposa de dos nivells ocupats per pantalans, grades, molls i passeigs, comerços.
- Moll de Mestral. Té 310 metres de llarga i 66 metres d'amplada. Té dos nivells ocupats per pantalans, molls i passeigs, comerços i la rampa pont principal d'accés al POB.
- Moll de Marina. Té una llarga de 260 metres i 66 metres d'amplada. Consta de tres nivells ocupats per pantalans, molls i passeigs, l'aparcament BSM.
- Moll de Xaloc. Situat a dins del POB, té 207 metres de llarga i 51 d'amplada (excepte l'extrem que són 76 metres). Amb un únic nivell, hi ha l'escar, l'edifici de capitania, molls i passeigs.

Els 28556, 50 m² d'amarratges es distribueix per les 5 zones explicades. Aquests m² equivalen a un total de 743 amarratges en punta dels quals 147 són de titularitat del port i la resta, 596, són de cessió d'ús. Del Moll de Xaloc surten 5 pantalans de 150 metres de longitud on hi atraquen vaixells a ambdós costats. Les eslores que hi podem trobar van des de 35 metres la més gran fins a 6 metres la més petita.

Pel que fa al consum d'electricitat del port, l'any 2017 va ésser de 1.041 MWh anuals. Aquest consum equival a una mitja de 2.852,05 kWh diaris.

Capítol 6. Selecció energies renovables al port

Com s'ha dit al Capítol anterior, el consum del Port Olímpic durant el 2017 ha estat de 1.041.000 kWh, que equival a una mitja 2.852,05 kWh dia. Degut a l'elevat consum que té el port, s'ha decidit realitzar una instal·lació fotovoltaica, eòlica i d'energia de les onades i intentar cobrir el màxim possible.

Tecnologia solar de conversió elèctrica

Per a poder realitzar l'estudi, s'ha contactat amb el senyor Xavier Artacho, Tècnic Superior en Eficiència Energètica i Energia Solar Tèrmica, i mitjançant una eina de software Excel de treball emprada com a calculadora amb la qual s'han pogut obtenir els resultats que s'explicaran a continuació. Als annexes s'hi podran trobar fotografies de l'eina utilitzada.

Els aparells escollits són els següents:

- Panell fotovoltaic Sunmodule Plus SW 300 Mono. Té una eficiència del 17,89% i les seves característiques tècniques són:
 - Màxima potència: 300 W
 - Tensió de circuit obert: 40 V
 - Seguidor de punt de màxima potència: 32,6 V
 - Intensitat de curtcircuit: 9,38 A
 - Intensitat màxim del punt de potència: 9,31 A
- Regulador Steca Power Tarom 4140. Admet un màxim de 140 ampers amb una tensió de 48 V.
- Inversor Studer Xtender XTH 8000. Admet una potència continua de 7000 volts ampers amb una tensió nominal de 48 V.

Tenint en compte l'actual distribució del port, s'han considerat tres punts on poder col·locar plaques fotovoltaïques que sumen un total de 570 plaques. 160 plaques es poden col·locar al sostre d'una marquesina que es troba al llarg del moll de Gregal, 380 al llarg del moll de Mestral a la part superior d'on estan els bars d'oci i per últim, 30 al final del moll de la Marina. A l'annex, s'hi ha afegit fotos dels emplaçaments. D'aquestes plaques, 410 es col·loquen amb una inclinació de 0 graus, ja que van collades a la paret, i 160 amb una inclinació de 40 graus, per a poder aprofitar més les hores solars de l'hivern. La orientació de les plaques serà 150 graus respecte el Nord, és a dir 30 graus respecte del sud. La orientació perfecte per a plaques solars és al Sud.

Ara que ja se sap la inclinació i orientació, es pot calcular la radiació que rebran les plaques i les hores solar pic (HSP) que són el nombre d'hores en les que es rep una irradiació solar de 1000 W/m² i s'ha de tenir en compte que 1 HSP = 3,6 MJ/m². El càlcul de la radiació s'ha realitzat mitjançant l'eina Excel. Com s'ha mencionat, la orientació de la instal·lació és de S30E i tenint

en compte la radiació solar que es produeix a l'àrea de Barcelona, s'obtenen els següents resultats:

- Per les 160 plaques amb una inclinació de 40 graus que rebrien una radiació de 17,25 MJ*m²/dia. D'aquesta radiació, es tenen en compte factors que poden fer variar la radiació. Així doncs, tenint en compte 5 % de pèrdues per inversor, regulador i ombres s'obté una radiació real de 16,43 MJ*m²/dia (tenint en compte les pèrdues per inversor, regulador i ombres que son un 5% cadascuna) i un total de 4,56 hores pic.
- Pel que fa a les 410 restants, la inclinació dels quals es 0, s'obté una radiació de 15,04 MJ*m²/dia. D'aquesta radiació, es resten com en el cas anterior un 5 % de pèrdues per inversor, regulador i ombres i s'obté una radiació de 14,32 MJ*m²/dia i un total de 3,98 hores pic.

Un cop se saben les hores pic, es pot saber l'energia que genera una placa al dia multiplicant les hores pic per la màxima potència que genera la placa (300 W).

Per les 410 plaques amb inclinació de 0°, l'energia generada per una placa és de 1.193,65 Wh/dia. Si es multiplica aquesta energia pel nombre de plaques (410) s'obté que subministraran una energia de 489.468,72 Wh diaris, o el que és el mateix, 489,468 kWh al dia.

Per a les 160 restants que tenen una inclinació de 40°, l'energia generada per una placa és de 1.369,05 Wh/dia. Si es multiplica pel nombre de plaques (160) s'obté que subministraran 218.967,36 Wh diaris, és a dir, 218,967 kWh al dia.

Així doncs, el total d'electricitat proporcionada per les plaques fotovoltaïques és de 708,435 kWh diaris, és a dir 258.578,78 kWh anuals que equivalen 258,58 MWh anuals.

Les plaques han d'anar connectades entre si. Aquestes connexions, es poden realitzar en sèrie, en paral·lel o de manera mixta (combinació de les altres dues). En aquesta instal·lació, serà aquesta última la que utilitzarem. És la més utilitzada per a la connexió de més de 5 plaques amb potència igual o superior a 200 W. La configuració que s'utilitzaria a la instal·lació del Port Olímpic seria:

- Plaques del moll de Gregal. Les 160 plaques aniran connectades en grups de 4 en sèrie i 40 en paral·lel.
- Plaques del moll de Mestral. En aquest moll, s'hi connecten 380 de les quals aniran en grups de 10 en sèrie i 38 en paral·lel.
- Plaques del moll de Marina. En aquesta zona, hi ha 30 plaques i van connectades 10 en sèrie i 3 en paral·lel.

Per últim tota instal·lació fotovoltaïca necessita un regulador i un inversor. La missió del regulador és controlar el flux d'energia per evitar una sobrecàrrega a les plaques mitjançant els paràmetres

d'intensitat, és a dir, en un hipotètic cas que les plaques subministressin més energia de la demandada pel port, el regulador tallaria la corrent que va cap a l'inversor. Normalment, el regulador està connectat a les bateries, però en el nostre cas no en tenim. Pel que fa l'inversor, el seu objectiu és transformar l'electricitat de corrent continua generada per les plaques en corrent alterna per a poder ser utilitzada.

Per a saber el nombre d'inversors necessaris per a la instal·lació, es necessita saber el màxim de potència que ha de garantir l'inversor aplicant-hi un coeficient de simultaneïtat que és del 75% i del 50%. La potència diària és de 29.518,17 W, que s'obté de l'energia total generada al dia (708.435,98 Wh/dia) dividida entre 24 que són les hores que té un dia. Per tant, aplicant els coeficients s'obtenen uns valors de 22.138,63 W i 14.759,09 W respectivament. Si d'aquests dos valors obtenim la mitja, s'obté un valor de 18.448,86 W que és la quantitat de potència a cobrir pels inversors. Així doncs, sabent que l'inversor admet una potència continua de 7000 VA, amb 3 inversors la totalitat de la instal·lació estaria coberta.

Si per l'inversor hem utilitzat la potència total que generen les plaques, per al regulador és té en compte la intensitat de curtcircuit de les plaques que van en paral·lel ja que les intensitats se sumen. La nostra placa té una intensitat de curtcircuit de 9,38 A i hem distribuït les plaques en 3 zones.

- Zona del moll de Gregal. Hi ha grups de 40 en paral·lel que multiplicat per la intensitat de 9,38 obtenim una intensitat total de 393,2 A que aplicant un factor de seguretat del 30 %, obtenim 511,16 A que és la intensitat que ha d'ésser capaç de suportar pel nostre regulador. El regulador escollit té una admissió màxima de 140 A, per tant, amb 4 reguladors cobrim els 511,16 A de la zona del moll de Gregal. Per a les altres dues zones el procediment és el mateix.
- Zona moll de Mestral, tenim 38 grups en paral·lel que ens dona una intensitat total del camp de 374,54 que aplicant el factor de seguretat obtenim 485,60 A d'intensitat que poden ser coberts amb 4 reguladors.
- Zona moll de Marina hem connectat 3 grups en paral·lel amb una intensitat total de 29,49 A que aplicant el coeficient obtenim 38,34 A. En aquest cas, amb un regulador cobrim de sobre la intensitat del moll de Marina.

Per tant, són necessaris un total de 9 reguladors per a cobrir tota la instal·lació.

En aquesta instal·lació es decideix no fer servir bateries ja que l'electricitat capaç de subministrar les plaques fotovoltaïques no és suficient per cobrir tota la demanda del port, per tant, sempre s'estarà utilitzant l'energia generada.

Energia eòlica

En quant a l'energia eòlica, es decideix utilitzar aerogeneradors d'eix vertical en detriment d'eix horitzontal. El motiu d'aquesta elecció no és un altre que tenint en compte que es tracta d'un port esportiu a la ciutat de Barcelona un aerogenerador d'eix horitzontal no seria convenient degut principalment a l'impacte visual que tindria. L'aerogenerador d'eix vertical vindria a ser com una fanal amb una turbina a dalt.

Per a poder realitzar l'estudi i elecció de l'aerogenerador, s'ha contactat amb l'empresa Danesa Aeolos Wind Turbine.

Per a poder escollir un aerogenerador, s'ha de saber la mitjana de vent anual. En el cas del Port Olímpic de Barcelona entre Febrer de l'any 2011 i Març de l'any 2019 la mitjana ha estat de 3,6 m/s.

Tenint en compte la variable visual i la mitjana de vent anual, s'ha decidit fer la consulta sobre un aerogenerador Aeolos-V 3kW. Les principals característiques d'aquest aerogenerador són:

- Potència nominal: 3kW
- Potència de sortida màxima: 3600 W
- Alçada aerogenerador: 3,6 m
- Diàmetre aerogenerador: 3 m
- Velocitat mínima de vent: 1,5 m/s
- Velocitat nominal del vent: 19 m/s
- Màxima velocitat de vent: 52,2 m/s
- Alçada torre: 6 m

Un dels problemes que pot donar l'energia eòlica, es el soroll que fan els aerogeneradors. En el cas de l'escollit, segons les dades facilitades produeix una fressa per sota de 45dB. 45 dB equivaldrien al soroll que es dona en una conversa normal.

Al Capítol 5 s'han pogut veure els espais del Port Olímpic comprovant que hi ha força espai on poder-hi col·locar els aerogeneradors. Al ser un aerogenerador d'eix vertical, tenen una ocupació més petita semblant a un fanal. Per tant, es podrien col·locar uns 25 aerogeneradors. De les dades que ens ha facilitat l'empresa Aeolos s'obté que amb la mitjana de vent de 3,6 m/s, l'aerogenerador subministraria 2.600 kWh anual. Així doncs, si es col·loquen els 25 aerogeneradors, s'obtindria una potència anual de 65.000 kWh, és a dir, 65 MWh.

Energia de les onades

L'energia de les onades s'instal·laria al Dic de Recer o Escullera de Poblenou. En total, es disposa d'uns 350 metres d'espigó ja que al final de l'espigó (a tocar de la bocana) hi ha una

protecció de blocs de formigó i a la cantonada amb el Moll de Gregal on està situada l'escola vela es deixen uns 50 metres lliures.

Per a fer els càlculs d'aquest tipus d'energia, es farà servir com a model la central que hi ha a Mutriko.

A la central de Mutriko, si van poder ubicar en 100 metres de dic 16 càmeres amb grups de turbogeneradors de 18,54 kW de potència nominal i es van utilitzar turbines tipo Wells, ideals per a les columnes d'aigua oscil·lants ja que poden rotar tant si surt aire com si entra. Si tenim en compte que al Port Olímpic hi han de 350 metres de dic, a Barcelona es podrien ubicar 56 càmeres amb els mateixos grups de turbogeneradors de 18,54 kW que conformen una potència total de 1.038,24 kW.

En un estudi realitzat sobre la central de Mutriko, es calculava que la producció anual era de 246.486 kWh. Aquesta producció es va donar amb una disponibilitat mitja de 9,94 turbines de les 16. Suposant que a Barcelona estiguessin en ple funcionament les 50 càmeres, es generaria una electricitat d'1.239.869,22 kWh, és a dir, 1,24 GWh anuals

Aquesta producció, està calculada vers la producció de la central de Mutriko que es troba al Mar Cantàbric. Les onades que es produeixen al Mar Cantàbric no són les mateixes que hi ha al Mar Mediterrani, per tant, la potència que es produeix a Mutriko no és la mateixa que a Barcelona. A Barcelona, la potència mitjana de les onades a 30 metres de profunditat es de 3 kW/m, mentre que a Mutriko, a la mateixa profunditat la potència mitjana és de 10,5 kW/m. Sabent aquestes dades, podem dir que la producció anual que tindria la instal·lació al Port Olímpic de Barcelona seria de 354.248,35 kWh o 354,25 MWh.

Capítol 7. Comparació entre energies renovables i convencionals

El principal inconvenient de les energies convencionals es la contaminació. Anteriorment s'ha parlat del canvi climàtic i un dels principals causants del canvi climàtic és el CO₂. Una de les grans avantatges que tenen les energies renovables és que la seva producció és “neta”, és a dir, no produeixen emissions contaminants.

Per a entendre-ho millor, s'ha de parlar d'una unitat de mesura anomenada tona equivalent de petroli (TEP). Aquesta unitat equival a l'energia obtinguda per la combustió d'una tona de petroli. S'utilitza també com a comparació dels nivells d'emissió de diòxid de carboni a l'atmosfera. Aquestes serien les principals equivalències de TEP amb CO₂:

- Gas Natural: 2,1
- Carbó mineral: 3,8
- Gasoil: 2,9

Amb el la instal·lació d'energia renovable que s'instal·laria al Port Olímpic es pot estimar aproximadament l'estalvi de kilograms de CO₂ que no s'han alliberat a l'atmosfera gràcies a que no s'ha hagut de cremar cap combustible fòssil per al consum de l'electricitat de l'edifici.

Per tindre en compte aquest càlcul, s'ha utilitzat un element anomenat factor d'emissió, establert per l'institut per la Diversificació i Estalvi de l'Energia (IDAE) on es crea una relació entre el kg de CO₂ equivalents amb el consum de kWh energètics.

Com s'ha esmentat anteriorment, el consum elèctric del port durant el 2017 mitjançant energies convencionals ha estat de 1.041 MWh anuals que equival a una emissió de 408,1 Tn de CO₂ equivalent. L'electricitat que generen les energies renovables que s'instal·larien al port d'estudi és de 677.827,481 kWh anuals que equival a 677,827 MWh anuals. Si li s'aplica el factor d'emissió (0,385) obtenim un estalvi d'emissions de 260,96 Tn de CO₂ equivalent.

Si ho desglossem per a totes les energies utilitzades, en el cas de l'energia solar tenim una producció anual de 258.578,13 kWh. S'hi aplica el factor d'emissió (0,385) i si només s'utilitzen aquesta font d'energia obtindríem un estalvi de 99,55 Tn de CO₂ equivalent.

Amb l'energia eòlica obtindríem uns resultats més baixos degut a que l'obtenció d'energia mitjançant aquesta font energètica es de tant sols 65.000 kWh anuals. Es torna a aplicar el factor d'emissió (0,385) i el resultat obtingut és d'un estalvi de 25,03 Tn de CO₂ equivalent.

Per últim, ens falta l'energia de les onades. En aquesta secció és on es dona el major estalvi d'emissions. La producció que s'obté és de 354.248,35 kWh anuals. Un cop s'hi ha aplicat el factor d'emissió (0,385) s'obté un estalvi de 136,39 Tn de CO₂ equivalent.

Capítol 8. Viabilitat econòmica

Per a poder fer un estudi de la viabilitat econòmica s'ha d'estudiar la inversió que requereixen les energies escollides i comprovar-ne l'amortització.

Energia solar

La inversió total que es faria per a tota la instal·lació referent a les plaques fotovoltaïques és de 250.517,19 €.

Si desglossem aquesta inversió obtenim els següents resultats:

- 200.013 € en plaques fotovoltaïques. El preu per unitat de les plaques és de 350,9 € i la infraestructura del port ens permet instal·lar 570 plaques.
- 28.019,97 € en reguladors. El preu unitat per a cada regulador es de 3.113,33 € i necessitem 9 reguladors per a tota la instal·lació.
- 22.484,22 € en inversors. El preu unitat per a cada inversor és de 7.494,74 € i la necessitat de la instal·lació és de 3.

Així doncs, tenint en compte la inversió total realitzada, l'estalvi en les factures d'energia elèctrica a conseqüència de l'electricitat generada per l'energia solar i considerant una vida útil de 25 anys, es comença a obtenir benefici un cop passats 11 anys. En aquest gràfic, es pot apreciar:

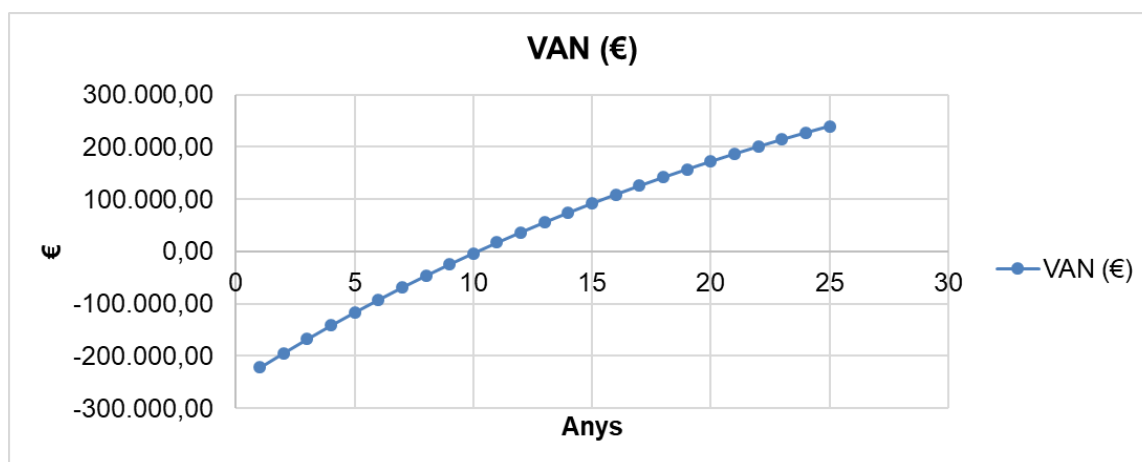


Figura 8. Amortització energia solar. Font: Pròpia

Energia eòlica

La inversió total que es faria per a tota la instal·lació referent a l'energia eòlica és de 288.250 €.

Si desglossem aquesta inversió obtenim els següents resultats:

- 205.250 € en l'aerogenerador. El preu de l'aerogenerador és de 8.210 € (inclou turbina, regulador i inversor) i s'instal·len un total de 25.

- 83.000 € en torres. El preu per a cada torre és de 3320 € i en són necessàries un total de 25.

Així doncs, tenint en compte la inversió total realitzada, l'estalvi en les factures d'energia elèctrica a conseqüència de l'electricitat generada per l'energia eòlica i considerant una vida útil de 25 anys, no es recupera la inversió necessària. En aquest gràfic, es pot apreciar:

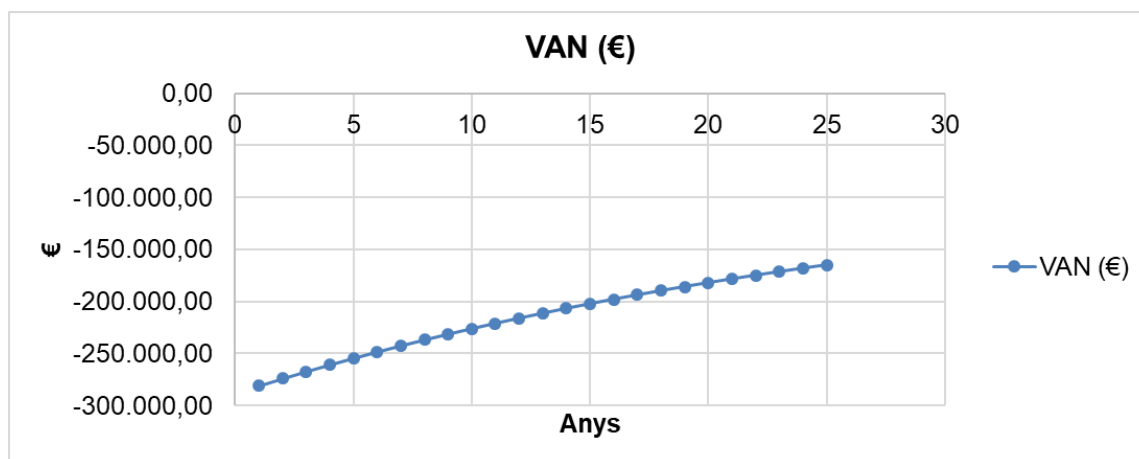


Figura 9. Amortització energia eòlica. Font: Pròpia

Energia de les onades

La inversió total que es faria per a tota la instal·lació referent a l'energia de les onades és de 20.937.500 €.

Així doncs, tenint en compte la inversió total realitzada, l'estalvi en les factures d'energia elèctrica a conseqüència de l'electricitat generada per l'energia de les onades i considerant una vida útil de 25 anys, no es recupera la inversió necessària. En aquest gràfic, es pot apreciar:

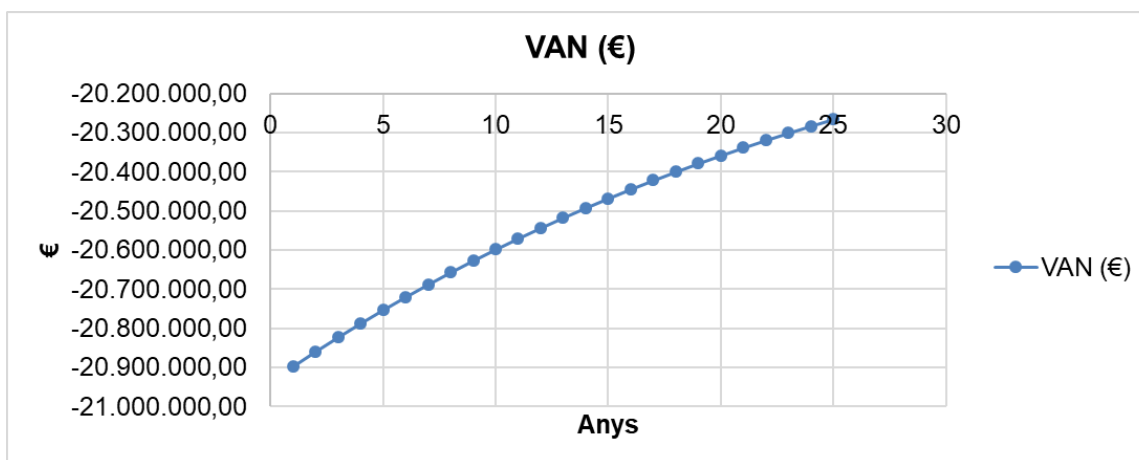


Figura 10. Amortització energia de les onades. Font: Pròpia

Total energies renovables

La inversió total que es faria per a tota la instal·lació d'energies renovables al Port Olímpic de Barcelona és de 21.476.267,19 €.

Així doncs, tenint en compte la inversió total realitzada, l'estalvi en les factures d'energia elèctrica a conseqüència de l'electricitat generada per totes les energies i considerant una vida útil de 25 anys, no es recupera la inversió necessària. En aquest gràfic, es pot apreciar:

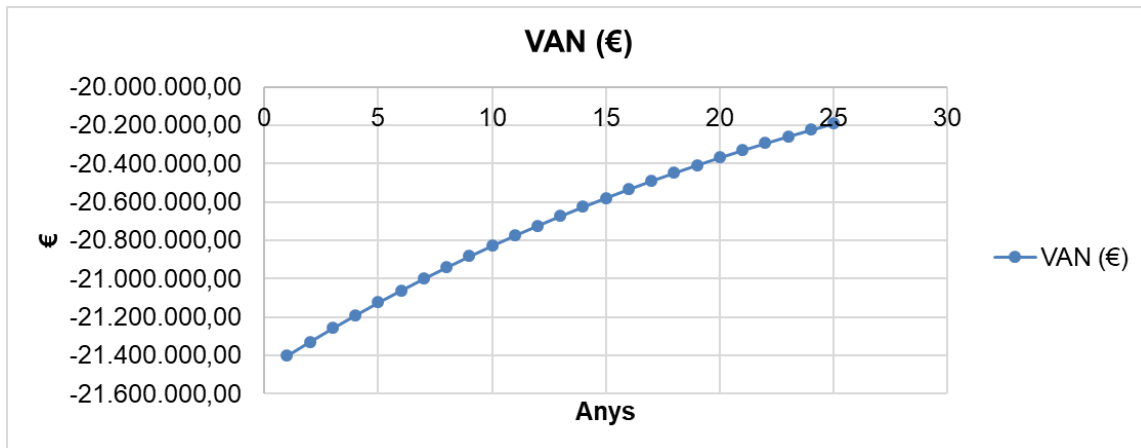


Figura 11. Amortització energies renovables del Port Olímpic. Font: Pròpia

Capítol 9. Cost econòmic del projecte

El projecte realitzat no ha tingut cap cost extra a part d'hores invertides i desplaçaments per a les visites. La major part del temps s'ha dedicat al treball de camp i a la redacció de la memòria. Dins del treball de camp s'inclou la recopilació general d'informació on s'hi troba la utilització de 3 llibres escrits per professionals del sector d'energies renovables així com la cerca d'informació per internet i també el contacte amb diverses empreses del sector per a poder obtenir una informació més acurada al respecte.

Un petit nombre d'hores s'han invertit en dues visites. La primera ha estat la visita en dues ocasions al Port Olímpic, el port escollit per a l'estudi, a càrrec del director del mateix, el senyor Joan Guitard Roy recopilant informació referent al port tant en espais com en consums. L'altre visita realitzada per a la consecució del treball ha estat amb un professional del sector, el senyor Xavier Artacho. Com a Tècnic Superior en Eficiència Energètica i Energia Solar Tèrmica és va contactar amb ell per a assolir de la manera més professional possible la realització de la part referent a l'energia solar.

Per últim, hi ha una mínima part referent al temps invertit en el transport per a les visites així com trobades amb el tutor del treball.

Així doncs, les hores destinades a la realització del mateix, han estat un total de 418 hores aproximadament dividides en:

- Treball de camp: 250 hores
- Redacció de la memòria: 150 hores
- Visita Port Olímpic: 5 hores
- Visita Sr. Xavier Artacho a Molins de Rei: 8 hores
- Visites amb el tutor del treball: 2 hores
- Desplaçaments: 3 hores

S'ha realitzat un petit estudi de mercat de consultories a nivell de Barcelona i s'ha pogut comprovar que un preu mitjà seria al voltant d'uns 50 € la hora. En el cas d'aquest treball s'hi ha invertit un total de **418 hores** que equivaldrien a un valor de 20.900 €.

Capítol 10. Conclusió

Un cop finalitzat el treball podríem dir que s'arriben a varies conclusions.

La primera i més evident és que el projecte de substitució d'energia tradicional per energies renovables no és viable de manera global ni parlant en termes energètics ni econòmicament.

Si tenim en compte l'espai del que podríem disposar per la instal·lació de les renovables al Port Olímpic, i sumant la possibilitat de producció d'energia per part de les tres estudiades (solar, eòlica i energia de les onades) tan sols podríem produir uns 677,83 MWh que suposen aproximadament un 65,11% del total de la energia que necessita el Port Olímpic de Barcelona, ja que segons la informació que m'han facilitat la demanda energètica total és de 1041 MWh.

L'altre problema amb el que ens trobem és la inversió inicial, el cost de la instal·lació dels mitjans necessaris per obtenir energia amb les tres renovables estudiades. Segons el càlculs necessitaríem una inversió inicial en el total de les instal·lacions de gairebé 21,5 milions d'euros. La vida útil estimada d'aquest tipus d'instal·lacions es de uns 25 anys i segons les dades de consum que tenim i tot i que hi ha un estalvi energètic important de 677,83 MWh anuals, només es recuperaria un 5,98% del total invertit.

Si ho mirem per separat per cadascuna de les energies, tenint en compte el cost necessari i estalvi energètic, hi ha un tipus d'energia que es viable: l'energia Solar. Tot i que tant sols cobreix el 24,84 % del total d'energia demandada pel port, passats 11 anys a partir de la posada en funcionament s'obtenen beneficis i si es tenen en compte els 25 anys de vida útil, s'obté un benefici de gairebé 240.000 €.

Amb els càlculs obtinguts resulta evident que cap entitat privada estaria disposada a fer una inversió tan gran a nivell global ja que les pèrdues serien impossibles d'assolir. Hi podrien haver dues solucions al respecte:

- La inversió per part d'algun organisme públic, bé mitjançant una inversió directa, subvencions o avantatges, fossin de tipus fiscal o econòmic, algun tipus de compensació que incentivi o compense les pèrdues.
- Invertir només en energia solar que es l'única de les tres energies que comporta un benefici.

Un altre tema a valorar, independentment de la viabilitat econòmica del projecte, és el benefici per la reducció d'emissions contaminants de CO₂. Durant l'any 2017 les emissions contaminants del Port Olímpic de Barcelona van ser 408,1 Tn CO₂ equivalent. Aquestes tones de CO₂ equivalent equivalen a 15.150 litres de combustible, o dit d'una altra manera, equival al dipòsit ple de 31 autocars de 55 places. Si fos possible la substitució de les energies no renovables per renovables encara que només fos en un 65% de la energia total que necessita el Port ens

suposaria una reducció en les emissions d'un 63,96%, és a dir, l'equivalent a 260,96 Tn de CO₂ equivalent.

En resum, la millora en la reducció d'emissions contaminats és bastant considerable així com també ho és la possibilitat, en funció de les necessitats del Port, de generar un 65,11% a mitjançant energies renovables. o fins i tot cobrir un 24,84 % amb energia solar, que és rendible. Ara mateix, tot i la conveniència de tractar evitar al màxim l'augment de la contaminació, el cost que suposa la inversió inicial global és massa elevat si no s'aconsegueix cap tipus d'ajuda. Però, es podria valorar la opció de duu a terme la instal·lació fotovoltaica que si que es rendible.

També podria ser molt interessant fer el mateix estudi per valorar l'aplicació en un Port amb menor consum energètic o bé en un port que per la seva ubicació pogués generar més energia mitjançant l'energia eòlica o de les onades, de tal manera que l'estalvi per energia generada fos més gran i compensés la inversió total de la instal·lació inicial. Tot i que un port mes petit tingui segurament unes emissions contaminants menors no s'hauria de deixar de banda la possibilitat de tractar d'aconseguir el màxim de ports amb el mínim d'emissions de CO₂.

Bibliografia

Aeolos Wind Turbine. *Aerogeneradores Verticales Aeolos-V 3kW* [en línia]. UK: Aeolos Wind Turbine. [Consulta 2 de Maig de 2019]. Disponible a <<https://www.windturbinestar.com/Arogenerador-Vertical-3kw.html>>.

Banco Mundial. *Consumo de energia procedent de combustibles fòsiles* [en línia]. USA: Agencia Internacional de l'Energia, 2016. [Consulta 19 de Març 2019]. Disponible a <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.COMM.FO.ZS?end=2015&locations=ES&n_ame_desc=false&start=1960&view=chart>.

Banco Mundial. *Emisiones de CO2* [en línia]. USA: Centre d'anàlisis d'informació sobre diòxid de carboni, 2015. [Consulta 19 de Març 2019]. Disponible a <<https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC?locations=ES&view=chart>>.

Cyberphysics. *Wave energy* [en línia]. UK: cyberphysics. [Consulta 7 de Maig de 2019]. Disponible a <<https://www.cyberphysics.co.uk/topics/energy/wave.htm>>.

De Juana, Jose M^a. *Energías renovables para el desarrollo*. 1a ed. Madrid: ITES-Paraninfo, 2002. ISBN 84-283-2864-1.

Diario renovables. *Analizamos los datos de la Central Undimotriz de Mutriku* [en línia]. Bilbao: Sergio Fernández Munguía, Desembre 2017. [Consulta 29 d'Abril de 2019]. Disponible a <<https://www.diariorenovables.com/2017/12/central-undimotriz-de-mutriku-analisis-datos-produccion-problemas.html>>.

El periódico de la energía. *Ørsted inaugura el Walney Extension, el mayor parque eólico marino del mundo* [en línia]. Madrid: José A. Roca, Setembre 2018. [Consulta: 2 d'Abril de 2019]. Disponible a <<https://elperiodicodelaenergia.com/orsted-inaugura-walney-extension-el-mayor-parque-eolico-marino-del-mundo/>>.

Eurostat, Statistics Explained. *Estadísticas de energía renovable* [en línia]. Luxemburg: Eurostat, Gener 2018. [Consulta: 18 de Març 2019]. Disponible a <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics/es>.

Idescat. Institut d'Estadística de Catalunya. *Consum d'energia renovable. Percentatge sobre el consum energètic final brut* [en línia]. Barcelona: Idescat, Desembre 2018. [Consulta: 19 de Març 2019]. Disponible a <<https://www.idescat.cat/indicadors/?id=ue&n=10161>>.

Idescat. Institut d'Estadística de Catalunya. *Electricitat obtinguda d'energies renovables* [en línia]. Barcelona: Idescat, Desembre 2018. [Consulta: 19 de Març 2019]. Disponible a <<https://www.idescat.cat/indicadors/?id=ue&n=10160>>.

INE. Instituto Nacional de Estadística. *Energía* [en línia]. Madrid: INE 2019. [Consulta: 18 de Març 2019]. Disponible a <http://www.ine.es/prodyser/espa_cifras/2018/40/#zoom=z>.

González Velasco, Jaime. *Energías renovables*. 1a ed. Barcelona: Reverté, 2009. ISBN 978-84-291-7912-5.

Madrid, Antonio. *Guia completa de las energías renovables y fósiles*. 1a ed. Madrid: AMV Ediciones, 2012. ISBN 978-84-96709-77-55.

Meteocat. Servei Meteorològic de Catalunya. *Observacions estat de la mar* [en línia]. Barcelona: Meteocat, Juliol 2017. [Consulta: 4 d'Abril de 2019]. Disponible a <<http://www.meteo.cat/wpweb/divulgacio/equipaments-meteorologics/observadors-meteorologics/manual-de-lobservador/estat-de-la-mar/observacions-de-lestat-de-la-mar/>>.

Real Decreto 413/2014, de 6 de Juny. *Regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovable,s cogeneración y residuos* [en línia]. Madrid: inisterio de Industria, Energía y Turismo, Juny 2014. [Consulta: 12 d'Abril de 2019]. Disponible a <<https://www.boe.es/buscar/pdf/2014/BOE-A-2014-6123-consolidado.pdf>>.

Annex

Annex A. Distribució Espais Port Olímpic

ESPAIS OBERTS A TERRA	102588,08
Escullera	6187,12
Grades	8954,59
Moll i Passeig	42962,48
Vials	11069,55
Aparcaments	4012,08
Pantalans	3431,90
Terrasses	6526,74
Escar	2942,19
Varada Zona Vela	6024,78
Zones Verdes-Platja	5985,91
Murs, Tanques i Escales	1766,24
EDIFICACIONS	36911,33
Capitania	506,96
Serveis Generals Port	4604,78
Dutxes, Vestidors i WC	209,66
Accés a Aparcament	112,51
Benzinera	146,50
Comercials	10431,79
Magatzems	7099,06
Pallols i Oficines	5421,78
Escola de Vela	2051,30

Aparcament BSM	6326,98
AIGUA	84414,32
Amarratges	28556,50
Canals i Bocana	55857,82

Taula 2. Distribució d'espais del Port Olímpic en m². Font: Port Olímpic

Annex B. Software Excel utilitzat per l'energia solar realitzada pel senyor Xavier Artacho, professional del sector solar

CATALUNYA															
BARCELONA		0º		BARCELONA		30º		BARCELONA		60º		BARCELONA		90º	
INCLINACIÓ				INCLINACIÓ				INCLINACIÓ				INCLINACIÓ			
0º [2]				2											
MES				MES				MES				MES			
14. Anual				14											
		0				15,04				0				0	

Figura 12. Radiació solar a Barcelona amb inclinació 0°

CATALUNYA															
BARCELONA		0º		BARCELONA		30º		BARCELONA		60º		BARCELONA		90º	
INCLINACIÓ				INCLINACIÓ				INCLINACIÓ				INCLINACIÓ			
				40º [10]				10							
MES				MES				MES				MES			
				14. Anual				14							
0				17,25				0				0			

Figura 13. Radiació solar a Barcelona amb inclinació 40°

PERDUES PER INVERSOR	5%
PERDUES PER REGULADOR	5%
PERDUES PER OMBRES	5%
RADIACIÓ REAL	14,32 MJ*m2/dia
HORES PIC	3,98 Hores

PERDUES PER INVERSOR	5%
PERDUES PER REGULADOR	5%
PERDUES PER OMBRES	5%
RADIACIÓ REAL	16,43 MJ*m2/dia
HORES PIC	4,56 Hores

Figura 14. Hores pic per inclinació de 0° i 40° respectivament

NUMERO DE PLAQUES EN SERIE	4
NUMERO DE GRUPS EN PARAL·LEL	40

Nº DE GRUPS	Nº PLAQUES X GRUP	V	A	W
40	4	160	393,2	12000
		0	0	0

4. REGULADOR

I >	511,16
-----	--------

MODEL	VOLTATGE	A
steca Power tarom 4140	48	140

Considerem agafar el model	steca Power tarom 4140	utilitzant	4	reguladors degut a que admet un màxim de	140	Ampers
----------------------------	------------------------	------------	---	--	-----	--------

NECESITEM	PROPORCIONA	
511,16	560	CORRECTE

Figura 15. Càlcul regulador zona Moll de Gregal

NUMERO DE PLAQUES EN SERIE	10
NUMERO DE GRUPS EN PARAL·LEL	38

Nº DE GRUPS	Nº PLAQUES X GRUP	V	A	W
38	10	400	373,54	11400
		0	0	0

4. REGULADOR

I >	485,60
-----	--------

MODEL	VOLTATGE	A
steca Power tarom 4140	48	140

Considerem agafar el model	steca Power tarom 4140	utilitzant	4	reguladors degut a que admet un màxim de	140	Ampers
----------------------------	------------------------	------------	---	--	-----	--------

NECESITEM	PROPORCIONA	
485,602	560	CORRECTE

Figura 16. Càlcul regulador zona Moll de Mestral

NUMERO DE PLAQUES EN SERIE	10
NUMERO DE GRUPS EN PARAL·LEL	3

Nº DE GRUPS	Nº PLAQUES X GRUP	V	A	W
3	10	400	29,49	900
		0	0	0

4. REGULADOR

I >	38,34
-----	-------

MODEL	VOLTATGE	A
steca Power tarom 4140	48	140

Considerem agafar el model	steca Power tarom 4140	utilitzant	1	reguladors degut a que admet un màxim de	140	Ampers
----------------------------	------------------------	------------	---	--	-----	--------

NECESITEM	PROPORCIONA	
38,337	140	CORRECTE

Figura 17. Càlcul regulador zona Moll de Marina

5. INVERSOR

14759,085	<	18448,85625	<	22138,6275
-----------	---	-------------	---	------------

MODEL	VOLTATGE	VA
studer xtender XTH 8000	48	7000

Considerem agafar el model	studer xtender XTH 8000	utilitzant	3	regulador degut a que compleix les nostres necessitats
----------------------------	-------------------------	------------	---	--

NECESITEM	PROPORCIONA	
18448,85625	21000	CORRECTE

Figura 18. Càlcul inversor

Annex C. Localitzacions on s'instal·larien les plaques fotovoltaiques



Figura 19. Marquesina del Moll de Gregal. Font: pròpia



Figura 20. Zona del Moll de Mestral. Font: pròpia



Figura 21. Zona del Moll de Mestral. Font: pròpia



Figura 22. Zona Moll de Marina. Font: pròpia

Annex D. Dic de Recer



Figura 23. Dic de recer. Font: pròpia



Figura 24. Dic de recer. Font: pròpia

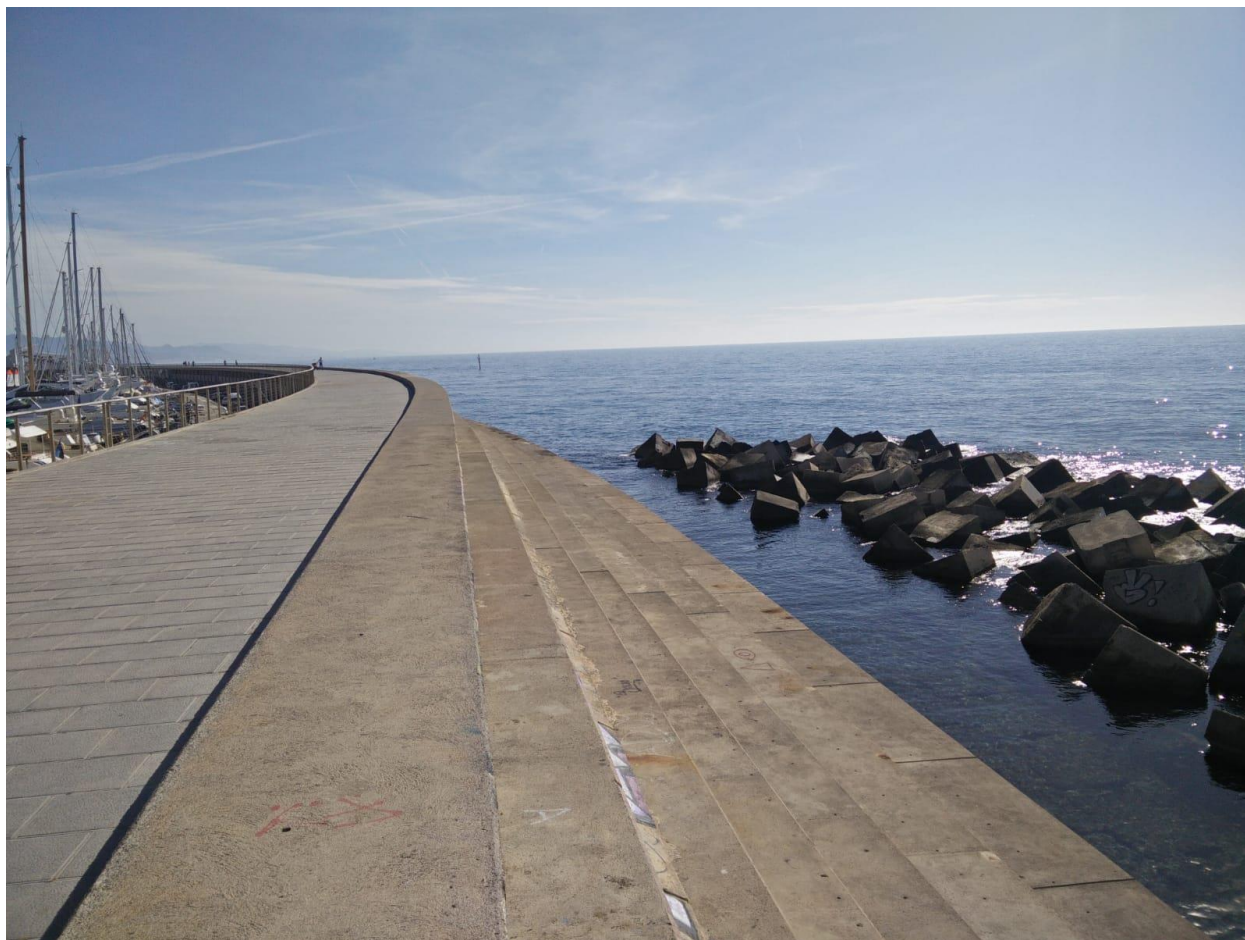


Figura 25. Blocs de formigó al Dic de Recer. Font: pròpia